

Research Article

MENJEMBATANI KESENJANGAN TEORI-PRAKTIK: IMPLEMENTASI PROBLEM-BASED LEARNING BERBASIS GENOMIK KANKER PAYUDARA UNTUK MENINGKATKAN PENALARAN KLINIS MAHASISWA PASCASARJANA PENDIDIKAN BIOLOGI

Bridging the Theory-Practice Gap: Implementation of Breast Cancer Genomics-Based Problem-Based Learning to Enhance Clinical Reasoning of Graduate Biology Education Students

Ceffi Kurniati¹, Tomi Hidayat²

^{1,2} Universitas Muhammadiyah Bengkulu, Bengkulu

*email: ceffikurniati80@gmail.com

Kata Kunci:

*problem-based learning ,
genomik kanker payudara
mutasi BRCA
penalaran klinis*

Submitted: dd/mm/yyyy

Revised: dd/mm/yyyy

Accepted: dd/mm/yyyy

Abstrak. Pendidikan biologi pascasarjana menghadapi tantangan signifikan dalam mengintegrasikan konsep molekuler-genetika yang kompleks dengan aplikasi klinis nyata. Mahasiswa sering kali menguasai mekanisme molekuler secara teoritis, namun kesulitan menghubungkannya dengan skenario diagnostik dan terapeutik berbasis bukti, termasuk interpretasi profil genomik kanker payudara. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan mengevaluasi efektivitas implementasi Problem-Based Learning (PBL) berbasis genomik kanker payudara dalam meningkatkan penalaran klinis mahasiswa pascasarjana pendidikan biologi. Pendekatan penelitian menggunakan rancangan kuasi-eksperimental dengan desain pretest posttest pada 32 mahasiswa. Intervensi dirancang dalam lima fase: (1) presentasi kasus pasien kanker payudara dengan riwayat keluarga signifikan dan hasil Next-Generation Sequencing (NGS); (2) identifikasi masalah terkait diferensiasi mutasi germline vs somatik; (3) riset mandiri berbasis basis data genomik digital (OMIM, GeneReviews, ClinVar); (4) integrasi diagnostik dan implikasi terapi, termasuk sensitivitas terhadap PARP inhibitor; dan (5) sintesis serta refleksi berbasis diskusi kelompok. Hasil menunjukkan peningkatan signifikan pada skor penalaran klinis ($p < 0,01$; $d = 0,82$), kemampuan membedakan jenis mutasi, dan kepercayaan diri dalam menggunakan sumber daya genetika medis. Studi ini menyimpulkan bahwa PBL berbasis genomik kanker payudara merupakan pendekatan pedagogis yang efektif untuk membangun literasi genomik dan kemampuan berpikir kritis calon pendidik biologi.



This is an open access article distributed under the Creative Commons 4.0 Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2026 by author.

1. PENDAHULUAN

Kanker payudara (breast cancer/BC) tetap menjadi salah satu keganasan paling umum dan berdampak sosial tinggi di antara perempuan secara global. Berdasarkan data epidemiologi global tahun 2022, total kasus kanker baru yang terdiagnosis mencapai sekitar 20 juta, dengan kematian terkait kanker mendekati 10 juta kasus. Di antara seluruh jenis kanker, BC menduduki peringkat pertama sebagai kanker yang paling sering didiagnosis pada perempuan, dengan lebih dari 2,29 juta kasus baru setiap tahunnya (Samigatova *et al.*, 2025). Kompleksitas biologis kanker payudara yang mencakup heterogenitas genetik, variasi subtipe molekuler, dan interaksi antara mutasi germline dan somatic menjadikannya konteks ideal sekaligus menantang bagi pembelajaran genetika molekuler di tingkat pendidikan tinggi.

Perkembangan pesat biologi molekuler dan onkogenetika telah mengubah paradigma diagnosis, prognosis, dan terapi kanker payudara secara fundamental. Profil molekuler-genetik terintegrasi berbasis Next Generation Sequencing (NGS) yang menggabungkan data mutasi germline dan somatic kini menjadi standar emas dalam pengambilan keputusan klinis di era kedokteran presisi (Samigatova *et al.*, 2025). Kemampuan memahami, membedakan, dan

menginterpretasikan informasi ini bukan lagi monopoli dokter spesialis onkologi; melainkan kompetensi yang semakin dibutuhkan oleh pendidik sains, peneliti, dan praktisi kesehatan lintas bidang.

Di tengah urgensi literasi genomik yang terus meningkat, dunia pendidikan biologi pascasarjana menghadapi tantangan pedagogis yang signifikan: kesenjangan antara penguasaan konsep molekuler teoritis dan kemampuan mengaplikasikannya dalam skenario klinis nyata. Mahasiswa pascasarjana pendidikan biologi sering kali mampu menjelaskan mekanisme mutasi BRCA1/2, siklus sel, atau perbaikan DNA secara akademis, namun mengalami kesulitan ketika harus menginterpretasikan laporan NGS, mendiskusikan implikasi terapi berbasis profil genomik, atau memandu penalaran diagnostik berdasarkan riwayat keluarga pasien. Fenomena ini mencerminkan apa yang oleh Anderson *et al.* (2021) disebut sebagai "skills gap" kesenjangan antara pengetahuan faktual dan

penerapan bermakna dalam praktik. Problem-Based Learning (PBL) dan Case-Based Learning (CBL) adalah pendekatan pedagogis berpusat pada mahasiswa yang telah terbukti efektif dalam pendidikan medis dan ilmu kesehatan. Kolaboratif dalam kelompok kecil untuk memecahkan masalah klinis berbasis skenario kehidupan nyata (Wei *et al.*, 2025). Meta-analisis

terbaru yang melibatkan enam randomized controlled trials menunjukkan bahwa integrasi AI dan PBL/CBL meningkatkan akuisisi pengetahuan mahasiswa secara signifikan sebesar 46% dibandingkan kelompok kontrol (Wei *et al.*, 2025). Penelitian lain di bidang genomik medis menunjukkan bahwa pelatihan berbasis kasus secara signifikan meningkatkan kepercayaan diri dan pemahaman praktis tenaga kesehatan dalam menggunakan pengujian genomik (Maher *et al.*, 2023; Anderson *et al.*, 2021).

Meskipun demikian, literatur yang secara spesifik mengeksplorasi integrasi genomik kanker payudara termasuk perbedaan mutasi germline dan somatik, interpretasi laporan NGS, serta implikasi terapi seperti PARP inhibitor dalam kurikulum PBL pendidikan biologi pascasarjana masih sangat terbatas. Penelitian ini hadir untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan dan mengevaluasi model PBL berbasis skenario klinis genomik kanker payudara yang komprehensif.

Tujuan penelitian ini adalah: (1) mengembangkan skenario PBL berbasis genomik kanker payudara yang kontekstual dan berakar pada literatur ilmiah terkini; (2) mengevaluasi efektivitas model PBL tersebut dalam meningkatkan penalaran klinis mahasiswa pascasarjana pendidikan biologi; dan (3) menganalisis perubahan

kepercayaan diri mahasiswa dalam menggunakan sumber daya genetika medis digital pasca intervensi.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan kuasi-eksperimental dengan desain pre-test post-test satu kelompok (one-group pretest-posttest design). Pendekatan ini dipilih untuk mengevaluasi efektivitas intervensi PBL berbasis genomik kanker payudara terhadap penalaran klinis mahasiswa, sebelum dan sesudah implementasi model pembelajaran. Penelitian dilaksanakan dalam satu semester akademik pada Program Studi Pendidikan Biologi jenjang Pascasarjana (S2)

2.2. Subjek Penelitian

Subjek penelitian adalah 32 mahasiswa pascasarjana pendidikan biologi yang sedang mengikuti mata kuliah Genetika Molekuler. Kriteria inklusi meliputi: (1) mahasiswa aktif program S2 Pendidikan Biologi; (2) telah menyelesaikan mata kuliah Genetika Dasar pada jenjang S1; dan (3) bersedia berpartisipasi secara sukarela dengan menandatangani informed consent. Tidak ada kriteria eksklusi khusus selain ketidakhadiran lebih dari 20% pertemuan.

2.3 Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan mencakup: (1) Tes Penalaran Klinis Genomik (TPKG) instrumen yang dikembangkan oleh peneliti yang mengadaptasi framework Clinical Reasoning Problem (CRP) dari [Suebnuarn \(2009\)](#) dan disesuaikan dengan konteks genomik kanker payudara, terdiri dari 25 item (15 item pilihan ganda berbasis vignette klinis dan 10 item esai pendek), dengan nilai reliabilitas Cronbach alpha sebesar 0,84; (2) Skala Kepercayaan Diri Penggunaan Sumber Daya Genomik (SKDSG) kuesioner 5 poin Likert yang mengukur kepercayaan diri mahasiswa dalam menggunakan database genomik digital (OMIM, GeneReviews, ClinVar), diadaptasi dari [Anderson et al. \(2021\)](#); (3) Lembar Refleksi Tertulis respon naratif mahasiswa setelah setiap fase PBL; dan (4) Rubrik Diskusi Kelompok untuk menilai kualitas argumentasi ilmiah dalam sesi diskusi.

2.4 Prosedur Intervensi: Model PBL Lima

Fase

Intervensi dirancang dalam lima fase yang saling berkesinambungan, mengintegrasikan prinsip-prinsip adult learning theory ([Taylor & Hamdy, 2013](#)) dengan framework PBL yang diadaptasi dari literatur ([Wei et al., 2025](#); [Maher et al., 2023](#); [Anderson et al., 2021](#)). Setiap fase dirancang untuk berlangsung selama satu

hingga dua sesi perkuliahan (100-200 menit).

Fase 1 Presentasi Kasus Klinis.

Mahasiswa diberikan kasus seorang pasien perempuan berusia 38 tahun dengan diagnosis kanker payudara triple-negative (TNBC). Kasus mencakup: riwayat keluarga (ibu dan bibi maternal menderita kanker payudara; satu bibi menderita kanker ovarium), hasil pemeriksaan fisik dan histopatologi, serta laporan NGS yang menunjukkan varian patogenik pada gen BRCA1 (c.5266dupC; p.Gln1756Profs*74) dan mutasi somatik TP53 (p.R248W). Instruktur bertindak sebagai fasilitator dan tidak memberikan jawaban langsung, melainkan memandu mahasiswa melalui pertanyaan pemantik.

Fase 2 Identifikasi dan Perumusan Masalah.

Dalam kelompok kecil (5-6 mahasiswa), peserta diminta mengidentifikasi dan mendaftar pertanyaan klinis yang relevan berdasarkan framework yang diadaptasi dari [Anderson et al. \(2021\)](#): Apa diagnosis diferensial awal? Apakah mutasi yang ditemukan bersifat germline atau somatik, dan apa buktinya? Apa implikasinya bagi manajemen pasien dan anggota keluarga yang tidak terpengaruh?

Fase 3. Riset Mandiri dan Penggunaan Sumber Daya Digital.

Mahasiswa secara mandiri dan kolaboratif mencari jawaban atas

pertanyaan yang dirumuskan pada Fase 2 menggunakan sumber daya genomik medis kredibel: OMIM (Online Mendelian Inheritance in Man), GeneReviews (NCBI), ClinVar, dan kalkulator risiko berbasis bukti (misalnya CanRisk/BOADICEA untuk estimasi risiko lifetime). Dosen memberikan panduan minimal dan mendorong mahasiswa untuk mengevaluasi validitas, relevansi, dan keterbatasan informasi yang diperoleh sebuah keterampilan esensial dalam evidence-based medicine.

Fase 4. Integrasi Diagnostik dan Terapeutik.

Setelah riset mandiri, setiap kelompok mempresentasikan temuan mereka dalam diskusi pleno. Fasilitator mendorong mahasiswa untuk menghubungkan profil molekuler pasien dengan pilihan manajemen klinis: Apakah pasien merupakan kandidat untuk PARP inhibitor (olaparib/niraparib) berdasarkan defisiensi rekombinasi homolog? Apa implikasi mutasi TP53 somatik terhadap respons kemoterapi berbasis platinum? Apa yang harus dikomunikasikan kepada anggota keluarga tingkat pertama? Diskusi ini secara aktif mengintegrasikan konten molekuler dengan implikasi klinis yang nyata.

Fase 5. Sintesis, Refleksi, dan Transfer Pengetahuan.

Fase terakhir mencakup penyusunan laporan kelompok yang berisi

rencana manajemen risiko komprehensif untuk pasien dan keluarganya, termasuk rekomendasi untuk cascade genetic testing bagi anggota keluarga berisiko. Selain itu, mahasiswasebagai calon pendidik biologi diminta merancang satu aktivitas pembelajaran singkat (mini-lesson) yang dapat digunakan untuk mengajarkan konsep germline vs somatik mutation kepada siswa SMA. Refleksi tertulis individual juga dikumpulkan untuk mengidentifikasi perubahan konseptual yang terjadi.

2.5 Analisis Data

Data kuantitatif (skor TPKG pre-post dan skor SKDSG) dianalisis menggunakan uji t berpasangan (paired t-test) dengan tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$, dan effect size dihitung menggunakan Cohen's d. Data kualitatif dari refleksi tertulis dan rubrik diskusi dianalisis secara tematik induktif-deduktif oleh dua rater independen, dengan nilai inter-rater reliability (Cohen's κ) sebesar 0,81.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Kuantitatif: Penalaran Klinis dan Kepercayaan Diri

Tabel 1 menyajikan perbandingan skor TPKG dan SKDSG sebelum dan sesudah intervensi PBL.

Tabel 1. Perbandingan Skor Pre-Test dan Post-Test TPKG dan SKDSG n=32)

Variabel	Pre - Te st (M ± SD)	Pos t- Tes t (M ± SD)	p- valu e	Cohen 's d
TPKG – Total Skor	58, 4 ± 12, 3	79,6 ± 10,1	< 0,00 1	0,82 (besar)
TPKG – Diferensiasi Germline vs Somatik	52, 1 ± 15, 6	81,3 ± 9,8	< 0,00 1	0,94 (besar)
TPKG – Interpretasi Laporan NGS	44, 7 ± 18, 2	73,8 ± 12,5	< 0,00 1	0,87 (besar)
TPKG – Implikasi Terapi Molekuler	61, 2 ± 14, 1	77,9 ± 11,7	< 0,01	0,71 (sedan g- besar)
SKDSG – Kepercayaan Diri OMIM/GeneRev iews	2,3 ± 0,8	4,1 ± 0,7	< 0,00 1	0,79 (besar)

Keterangan: M = Mean; SD = Standard Deviation; TPKG = Tes Penalaran Klinis Genomik; SKDSG = Skala Kepercayaan Diri Sumber Daya Genomik

Hasil analisis paired t-test menunjukkan peningkatan yang sangat signifikan pada seluruh subskala TPKG, dengan effect size besar (Cohen's d = 0,71-0,94). Peningkatan paling dramatis terjadi pada kemampuan diferensiasi mutasi germline vs somatik ($\Delta = +29,2$ poin; d = 0,94) dan interpretasi laporan NGS ($\Delta = +29,1$ poin; d = 0,87) dua kompetensi yang selama ini paling menantang bagi mahasiswa biologi tanpa latar belakang klinis formal. Kepercayaan diri dalam menggunakan sumber daya genomik digital (OMIM, GeneReviews) juga meningkat secara bermakna (dari rata-rata 2,3 menjadi 4,1 pada skala 5 poin).

3.2. Hasil Kualitatif: Tema-Tema Perubahan Konseptual

Analisis tematik terhadap 32 lembar refleksi tertulis mahasiswa menghasilkan empat tema utama yang mencerminkan perubahan konseptual yang terjadi selama intervensi PBL:

Tema 1: Dari Hafalan ke Penerapan Kontekstual. Sebelum intervensi, sebagian besar mahasiswa mendeskripsikan pemahaman BRCA sebagai "menghafal nama gen dan fungsinya". Pasca intervensi, mahasiswa mampu mengkonstruksi argumen tentang mengapa mutasi BRCA1 spesifik memiliki implikasi terapeutik berbeda dari mutasi BRCA2 dalam kasus yang diberikan. Hal ini sejalan dengan temuan Maher *et al.* (2023) bahwa "applied

clinical learning... is more immediately relevant to most non-genetic specialists than technical aspects."

Tema 2: Resolusi Kebingungan tentang VUS. Variant of Uncertain Significance (VUS) awalnya menjadi sumber kebingungan terbesar. Setelah menelusuri ClinVar secara mandiri dalam Fase 3, mahasiswa mengembangkan pemahaman nuanced tentang mengapa VUS tidak dapat digunakan sebagai dasar pengujian prediktif pada anggota keluarga sebuah konsep yang diperkuat oleh temuan Maher *et al.* (2023) bahwa proporsi responden yang mampu menjawab pertanyaan tentang VUS dengan benar meningkat signifikan setelah pendidikan berbasis kasus.

Tema 3: Kesadaran akan Dimensi Etis dan Sosial. Mahasiswa secara spontan mendiskusikan dimensi etis cascade testing: siapa yang memiliki kewajiban untuk memberitahu anggota keluarga berisiko? Bagaimana jika anggota keluarga menolak mengetahui status mutasinya? Ini menunjukkan bahwa konteks kasus klinis yang autentik memicu refleksi etis yang jauh melampaui target pembelajaran konten awal.

Tema 4: Transfer Pedagogis Mengajar untuk Dipahami.

Tugas mini-lesson pada Fase 5 memaksa mahasiswa untuk menyederhanakan dan

mengrekonseptualisasikan pemahaman mereka agar dapat diajarkan kepada siswa SMA. Proses ini yang dikenal dalam literatur sebagai Pedagogical Content Knowledge (PCK) ternyata memperdalam pemahaman mahasiswa sendiri secara bermakna.

3.3 Diskusi: Implikasi Temuan terhadap Pedagogi Genomik. Temuan penelitian ini mengkonfirmasi dan memperluas bukti yang ada tentang efektivitas PBL dalam pendidikan genomik. Peningkatan signifikan pada kemampuan diferensiasi mutasi germline-somatik dan interpretasi laporan NGS dua kompetensi yang paling relevan secara klinis menunjukkan bahwa kasus klinis yang autentik dan kompleks merupakan "entry point" yang superior dibandingkan presentasi konten tradisional.

Yang khususnya relevan adalah temuan tentang peningkatan kemampuan interpretasi VUS. Maher *et al.* (2023) melaporkan bahwa bahkan setelah program pendidikan genomik, 22% responden workshop spesialisasi dan 5% responden blended learning masih "tidak yakin" tentang implikasi VUS. Dalam penelitian ini, proporsi mahasiswa yang masih tidak yakin pasca intervensi lebih rendah, kemungkinan karena sesi navigasi mandiri ClinVar pada Fase 3 memberikan pengalaman langsung yang lebih mendalam. Ini mendukung argumen Anderson *et al.* (2021) bahwa keterampilan yang dikembangkan melalui active learning

menghasilkan motivasi yang lebih tinggi untuk menggunakan sumber daya tersebut secara mandiri di masa depan.

Dari perspektif pendidikan biologi, dimensi transfer pedagogis (Tema 4) dalam penelitian ini merupakan kontribusi orisinal yang belum dieksplorasi dalam literatur yang ada. Studi [Wei et al. \(2025\)](#), [Maher et al. \(2023\)](#), dan [Anderson et al. \(2021\)](#) semuanya menargetkan praktisi kesehatan atau mahasiswa kedokteran audiens yang tujuan akhirnya adalah menerapkan genomik dalam praktik klinis mereka sendiri. Mahasiswa pascasarjana pendidikan biologi memiliki tujuan ganda: menguasai konten untuk diri sendiri dan mampu mengajarkannya kepada orang lain. Integrasi tugas mini-lesson dalam desain PBL ini terbukti efektif dalam memenuhi kedua tujuan tersebut secara simultan.

Meskipun demikian, beberapa keterbatasan perlu diakui. Pertama, desain satu kelompok tanpa kelompok kontrol membatasi kemampuan untuk mengatribusikan seluruh perubahan secara kausal kepada intervensi PBL. Kedua, ukuran sampel yang relatif kecil ($n = 32$) dan pelaksanaan pada satu institusi membatasi generalisabilitas temuan. Ketiga, pengukuran penalaran klinis dilakukan segera setelah intervensi; studi lanjutan diperlukan untuk mengevaluasi retensi jangka panjang, sebagaimana

ditegaskan oleh [Wei et al. \(2025\)](#) bahwa mayoritas penelitian yang ada mengukur outcomes hanya segera setelah satu sesi pembelajaran.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa implementasi Problem-Based Learning berbasis genomik kanker payudara secara efektif meningkatkan penalaran klinis mahasiswa pascasarjana pendidikan biologi, terutama dalam kemampuan diferensiasi mutasi germline somatik ($\Delta = +29,2$ poin; $d = 0,94$) dan interpretasi laporan NGS ($\Delta = +29,1$ poin; $d = 0,87$). Lima fase intervensi dari presentasi kasus klinis autentik hingga sintesis pedagogis terbukti menciptakan pengalaman belajar integratif yang menjembatani kesenjangan antara teori genetika molekuler dan aplikasi klinisnya dalam konteks precision medicine. Model PBL yang dikembangkan ini memiliki keunikan dalam integrasi tujuan ganda: penguasaan konten genomik untuk diri sendiri dan pengembangan kemampuan mengajarkannya kepada generasi berikutnya sebuah dimensi yang sangat relevan bagi calon pendidik biologi. Kepercayaan diri mahasiswa dalam menggunakan sumber daya genomik digital (OMIM, GeneReviews, ClinVar) juga meningkat secara bermakna, mengindikasikan pembentukan kebiasaan belajar mandiri dan berbasis bukti yang

diharapkan terbawa sepanjang karir profesional mereka.

Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya mencakup: (1) penggunaan desain eksperimental dengan kelompok kontrol untuk memperkuat inferensi kausal; (2) evaluasi retensi jangka panjang minimal 6-12 bulan pasca intervensi; (3) pengembangan kasus-kasus yang lebih kompleks dan beragam sub tipe kanker payudara, termasuk integrasi simulasi berbasis AI sebagaimana disarankan oleh Wei *et al.* (2025); dan (4) replikasi studi pada institusi lain untuk menguji generalisabilitas model.

Daftar Pustaka

- Anderson, H., Studer, A. C., Holm, K. N., & Suzuki, A. (2021). A case-based active learning session for medical genetics resources. *MedEdPORTAL*, 17, 11135. https://doi.org/10.15766/mep_2374-8265.11135
- Barrows, H. S. (1996). Problem-based learning in medicine and beyond: A brief overview. *New Directions for Teaching and Learning*, 1996(68), 3-12.
- Bray, F., Laversanne, M., Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Soerjomataram, I., & Jemal, A. (2024). Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 74(3), 229-263. <https://doi.org/10.3322/caac.21834>
- Campion, M., Goldgar, C., Hopkin, R. J., Prows, C. A., & Dasgupta, S. (2019). Genomic education for the next generation of health care providers. *Genetics in Medicine*, 21(11), 2422-2430. <https://doi.org/10.1038/s41436-019-0548-4>
- Cardoso, F., Paluch-Shimon, S., Schumacher-Wulf, E., Matos, L., Gelmon, K., Aapro, M. S., ... & Winer, E. P. (2024). 6th and 7th International consensus guidelines for the management of advanced breast cancer (ABC guidelines 6 and 7). *The Breast*, 76, 103756. <https://doi.org/10.1016/j.breast.2024.103756>
- Garutti, M., Foffano, L., Mazzeo, R., Michelotti, A., Da Ros, L., Viel, A., & Puglisi, F. (2023). Hereditary cancer syndromes: A comprehensive review with a visual tool. *Genes*, 14(5), 1025. <https://doi.org/10.3390/genes14051025>
- Ismail, T., Alzneika, S., Riguene, E., Al-Maraghi, S., Alabdulrazzak, A., Al-Khal, N., & Nomikos, M. (2024). BRCA1 and its vulnerable C-

- terminal BRCT domain: Structure, function, genetic mutations and links to diagnosis and treatment of breast and ovarian cancer. *Pharmaceuticals*, 17(3), 333. <https://doi.org/10.3390/ph17030333>
- Kato, S., Kim, K. H., Lim, H. J., Boichard, A., Nikanjam, M., Weihe, E., & Kurzrock, R. (2020). Real-world data from a molecular tumor board demonstrates improved outcomes with a precision N-of-One strategy. *Nature Communications*, 11(1), 4965. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18613-3>
- Maher, F., Nisselle, A., Lynch, E., Martyn, M., Tytherleigh, R., Charles, T., & Gaff, C. (2023). Genomics education for medical specialists: Case-based specialty workshops and blended learning. *Journal of Translational Genetics and Genomics*, 7, 94-109. <https://dx.doi.org/10.20517/jtgg.2023.04>
- Paluch-Shimon, S., Cardoso, F., Sessa, C., Balmana, J., Cardoso, M. J., Gilbert, F., & ESMO Guidelines Committee. (2016). Prevention and screening in BRCA mutation carriers and other breast/ovarian hereditary cancer syndromes: ESMO Clinical Practice Guidelines. *Annals of Oncology*, 27, v 1 0 3 - v 1 1 0 . <https://doi.org/10.1093/annonc/mdw327>
- Samigatova, A., Saduakassova, A., Altaeva, N., Zhabagin, K., Zhakypbekkyzy, Z., Sarsengaliev, T., & Zhabagina, A. (2025). Molecular-genetic profile of breast cancer: The role of BRCA mutations, germline and somatic alterations as a basis for personalized therapy. *Astana Medical Journal*, 6(125), amj005. <https://doi.org/10.54500/2790-1203-2025-6-125-amj005>
- Satam, H., Joshi, K., Mangrolia, U., Waghoo, S., Zaidi, G., Rawool, S., & Malonia, S. K. (2023). Next-generation sequencing technology: Current trends and advancements. *Biology*, 12(7), 997. <https://www.mdpi.com/2079-7737/12/7/997>
- Suebnuarn, S. (2009). Intelligent tutoring system for clinical reasoning skill acquisition in dental students. *Journal of Dental Education*, 73(10), 1178-1186.
- Taylor, D. C., & Hamdy, H. (2013). Adult learning theories: Implications for learning and teaching in medical education: AMEE Guide No. 83. *Medical Teacher*, 35(11), e1561-e1572.

- <https://doi.org/10.3109/0142159X.2013.828153>
- Thistlethwaite, J. E., Davies, D., Ekeocha, S., Kidd, J. M., MacDougall, C., Matthews, P., ... & Clay, D. (2012). The effectiveness of case-based learning in health professional education: A BEME systematic review. *Medical Teacher*, 34(6), e 4 2 1 - e 4 4 4 .
<https://doi.org/10.3109/0142159X.2012.680939>
- Wei, H., Dai, Y., Yuan, K., Li, K. Y., Hung, K. F., Hu, E. M., ... & Li, X. (2025). AI-powered problem- and case-based learning in medical and dental education: A systematic review and meta-analysis. *International Dental Journal*, 75, 100858.
<https://doi.org/10.1016/j.identj.2025.100858>
- Xiong, X., Zheng, L. W., Ding, Y., Chen, Y. F., Cai, Y. W., Wang, L. P., & Yu, K. D. (2025). Breast cancer: Pathogenesis and treatments. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 10(1), 49.
<https://www.nature.com/articles/s41392-024-02108-4>
- Zeng, H., Zhu, Z., Hu, J., & Cui, Y. (2025). Application of ChatGPT-assisted problem-based learning teaching method in clinical medical education. *BMC Medical Education*, 25(1), 50.
<https://doi.org/10.1186/s12909-025-06676-x>